

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



Europäisches  
Patentamt

European  
Patent Office

Office européen  
des brevets



Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterlagen stimmen mit der ursprünglich eingereichten Fassung der auf dem nächsten Blatt bezeichneten europäischen Patentanmeldung überein.

The attached documents are exact copies of the European patent application described on the following page, as originally filed.

Les documents fixés à cette attestation sont conformes à la version initialement déposée de la demande de brevet européen spécifiée à la page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

01830014.5

Der Präsident des Europäischen Patentamts;  
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets  
p.o.

R C van Dijk

DEN HAAG, DEN  
THE HAGUE,  
LA HAYE, LE

08/01/02

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



**Blatt 2 der Bescheinigung  
Sheet 2 of the certificate  
Page 2 de l'attestation**

Anmeldung Nr.:  
Application no.: 01830014.5  
Demande n°:

Anmeldetag:  
Date of filing: 12/01/01  
Date de dépôt:

Anmelder:  
Applicant(s):  
Demandeur(s):  
STMicroelectronics S.r.l.  
20041 Agrate Brianza MI  
ITALY

Bezeichnung der Erfindung:  
Title of the invention:  
Titre de l'invention:

"A process and system for compressing and decompressing digital information and computer program product therefor

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed / Priorité(s) revendiquée(s)

Staat:  
State:  
Pays:

Tag:  
Date:  
Date:

Aktenzeichen:  
File no.  
Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation:  
International Patent classification:  
Classification internationale des brevets:

H03M7/30, H04N7/26

Am Anmeldetag benannte Vertragsstaaten:  
Contracting states designated at date of filing: AT/BE/CH/CY/DE/DK/ES/FI/FR/GB/GR/IE/IT/LI/LU/MC/NL/PT/SE/TR  
Etats contractants désignés lors du dépôt:

Bemerkungen:  
Remarks:  
Remarques:

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

"Procedimento e sistema per la compressione/decompressione di informazione digitale, e relativo prodotto informatico"

\* \* \*

5        Campo dell'invenzione

La presente invenzione si riferisce, in generale, alla compressione/decompressione di informazione digitale.

Descrizione della tecnica nota

10       Nella descrizione e nella definizione di un sistema per il trattamento di informazione digitale sono sempre presenti tre categorie diverse di strutture: quelle di ingresso/uscita, quelle di trattamento (processamento) dei dati e quelle di  
15 memorizzazione.

Chiaramente, ciascuna di tali strutture è specializzata per svolgere una determinata funzione in modo indipendente dalle altre, e questo si riflette direttamente su come la loro connessione e  
20 comunicazione viene strutturata ed anche su come tali strutture vengono definite al loro stesso interno.

Nell'ottica generale di definizione e descrizione dell'architettura di un sistema, il punto di partenza comune è la definizione del campo applicativo in cui  
25 deve essere posto ed utilizzato tale sistema. Una volta chiarito questo punto, si passa alla definizione di tutti i parametri che caratterizzano l'applicazione finale partendo dall'elemento principale, ovvero le interfacce necessarie all'acquisizione ed alla  
30 trasmissione dei dati.

Successivamente alla definizione delle interfacce di ingresso/uscita si passa alla definizione del sistema che si occuperà di trattare tali dati e dunque anche alla definizione di come e dove svolgere la  
35 funzione di memorizzazione.

Partendo dal presupposto che non si ha alcun dubbio sulla complessità che avrà la definizione del miglior sistema di trattamento dei dati, la fase di scelta del sistema di memorizzazione diventa l'ultimo  
5 punto che rimane da coprire e che risulta essere anch'esso un punto chiave della definizione dell'architettura finale di un sistema. La complessità del sistema di memorizzazione dipende da molti fattori come la sua dimensione, il tipo di memoria (SRAM, DRAM,  
10 Cache, Flash, FIFO, ecc.), il tipo e la velocità di accesso in base alla frequenza massima ed alla dimensione del bus di comunicazione ed in base ai vari domini del clock presenti nel sistema, il corretto partizionamento fra buffer parziali e di  
15 immagazzinamento finale, buffer di sincronizzazione, e così via, infine la posizione nella catena di trattamento e tutti altri fattori dipendenti direttamente dall'applicazione.

E' già stata percepita in passato la criticità  
20 della parte di sistema relativa alla memoria che si pone fra la parte di trattamento dei dati e quella di memorizzazione vera e propria, preoccupandosi della compressione dei dati stessi.

In particolare, viene avvertita l'esigenza di  
25 disporre di soluzioni che consentano di comprimere in modo variabile l'informazione digitale tramite un meccanismo a bassissima complessità computazionale ma in grado di garantire un'elevata qualità dell'informazione decompressa.

30 Tutto questo con il fine principale di perseguire i seguenti obiettivi:

- riduzione del numero di accessi necessari per poter eseguire le operazioni di lettura e di scrittura nella memoria,



- riduzione della quantità di dati che vengono trasmessi attraverso i canali di comunicazione, con conseguente incremento di fatto della banda di trasmissione disponibile nel sistema,

5       - predicibile riduzione della quantità di memoria richiesta,

- possibilità di variare in modo dinamico i limiti del fattore di compressione durante l'esecuzione dell'applicazione stessa,

10       - conseguimento di un'elevata velocità nell'effettuazione delle operazioni di compressione e decompressione, in particolare grazie ad una ridotta complessità,

- minimizzazione della quantità di perdita di  
15 qualità dell'informazione digitale,

- possibilità di evitare effetti negativi legati alla perdita ricorsiva della qualità iniziale,

- possibilità di realizzare soluzioni di fatto invarianti rispetto alla quantità, alla posizione ed al  
20 contenuto dell'informazione stessa da comprimere.

#### Scopi e sintesi dell'invenzione

La presente invenzione si prefigge lo scopo di realizzare una soluzione in grado di perseguire gli obiettivi sopra delineati.

25       Secondo la presente invenzione, tale scopo viene raggiunto grazie ad un procedimento avente le caratteristiche richiamate in modo specifico nelle rivendicazioni che seguono.

Al riguardo si apprezzerà il fatto che, nella sua  
30 definizione più generale, espressa dalla rivendicazione 1, la soluzione secondo l'invenzione si riferisce alla conversione dei dati fra il formato originale ed il formato compresso in modo indipendente dal verso in cui la conversione si realizza.

L'invenzione si riferisce anche al relativo sistema ed al corrispondente prodotto informatico.

La soluzione secondo l'invenzione consente di conseguire rilevanti benefici che vanno dalla riduzione  
5 della quantità di dati trasmessi (con conseguente aumento della banda a disposizione), al minor numero di conflitti per accesso al bus di comunicazione (dato il maggior numero di dati caricati e scaricati contemporaneamente), alla riduzione della quantità  
10 finale di memoria per il salvataggio dei dati, parziali e/o finali.

Tutto questo potendo disporre di un fattore dinamico di compressione limitato superiormente ed inferiormente da due coefficienti percentuali finiti e  
15 determinabili a priori.

La soluzione secondo l'invenzione è suscettibile di essere applicata, ad esempio, in tutti i contesti in cui viene fatto uso di memorie cache, migliorando le prestazioni grazie al maggior numero di hit ed alla  
20 riduzione dei miss. Tutto questo con particolare attenzione alle possibili applicazioni in tempo reale, dato il parallelismo espresso dalla tecnica di compressione/decompressione ed alle applicazioni di tipo general purpose basate su memorie di massa  
25 standard. Tutto questo data la predicibile riduzione della quantità di memoria finale utilizzata.

La soluzione secondo l'invenzione è in generale applicabile in tutti quei contesti in cui è fondamentale ridurre la quantità di dati trasmessi,  
30 comprese le applicazioni che si basano su informazioni digitali ed alta correlazione interna e/o le applicazioni in cui è richiesto un basso assorbimento di energia (ad esempio applicazioni di tipo wireless e/o di telefonia mobile), grazie alla ridotta attività  
35 di commutazione raggiungibile.

La soluzione secondo l'invenzione si prospetta come potenzialmente "lossy", ossia con la possibilità di avere - in alcuni casi - una limitata e controllata perdita di informazioni. Come è noto, questo fatto non  
5 è di per sé ostativo nei confronti di un impiego del tutto soddisfacente, in particolari in settori quali quelli del trattamento delle immagini, settore nel quale è possibile ammettere una controllata perdita di informazioni grazie al fatto che l'occhio umano è  
10 insensibile a determinate variazioni, secondo la ben nota teoria denominata HVS (acronimo di Human Visual System).

Elemento fondamentale della soluzione secondo l'invenzione è la cosiddetta "configurazione". Così  
15 come già si è detto, è possibile che alcune configurazioni siano tali da introdurre, alla fine di tutta la fase di compressione e decompressione, una contenuta perdita di informazione nei segnali (ad esempio di immagine) che vengono trattati. Fattore,  
20 questo, del quale è necessario tenere conto per quanto riguarda la possibile collocazione di un sistema secondo l'invenzione nell'ambito di catena di trattamento. Ad esempio, se applicato a monte di tutta la catena di elaborazione, un sistema secondo  
25 l'invenzione è suscettibile di influire sulla qualità dei risultati prodotti dagli stadi di trattamento che seguono. Al contrario, se applicato a valle di tutta la catena di elaborazione, ovvero prima della memorizzazione finale, la possibile, contenuta perdita  
30 di informazione è suscettibile di avere un'influenza solo sulla dimensione della memoria di massa finale e non sulla larghezza di banda e sul decremento generale della comunicazione sul bus.

Va comunque rilevato che un'eventuale contenuta  
35 perdita di informazione introdotta durante la prima

attività di compressione non viene successivamente introdotta nelle successive applicazioni, risultando così invariante nel dominio del tempo. Risulta quindi giustificata la replicazione del processo di  
5 compressione e decompressione in qualsiasi fase intermedia di una catena di immissione in ingresso (input), trattamento o processamento, scrittura, lettura ed emissione in uscita (output) di dati.

In ogni caso, le possibilità di applicazione della  
10 soluzione secondo l'invenzione abbracciano tutti i possibili formati di dati digitali (video, audio, dati di varia natura ecc.) suscettibili di costituire basi di dati in ingresso per un sistema secondo l'invenzione.

15 Breve descrizione dei disegni annessi

Ulteriori . caratteristiche e vantaggi dell'invenzione risulteranno dalla descrizione che segue, fatta a puro titolo di esempio non limitativo con riferimento ai disegni annessi, nei quali:

20 - la figura 1 illustra un esempio di configurazione di dati utilizzabile nell'ambito della presente invenzione,

- la figura 2 illustra in generale lo svolgimento del flusso del processo di compressione nell'ambito di  
25 un sistema secondo l'invenzione,

- la figura 3 illustra schematicamente l'organizzazione dei dati suscettibili di essere portati all'ingresso di un sistema secondo l'invenzione,

30 - le figure 4 a 10 illustrano in modo schematico lo svolgimento di successive fasi del procedimento secondo l'invenzione, utilizzato nella funzione di compressione,

- le figure 11 e 12 illustrano, rispettivamente,  
35 diverse possibilità di rappresentazione dei dati nel

formato compresso a seconda che si sia avuto un insuccesso ovvero un successo nello svolgimento nell'operazione di compressione,

5       - le figure 13 a 16 illustrano vari esempi di possibili esisti dell'azioned compressione dei dati, con particolare attenzione ai relativi fattori di guadagno di compressione conseguibili,

10       - la figura 17, sostanzialmente duale nei confronti della figura 2, illustra il flusso del processo di decompressione attuato nell'ambito dell'invenzione,

15       - le figure 18 a 20 illustrano in modo schematico lo svolgimento di successive fasi del procedimento secondo l'invenzione, utilizzato nella funzione di decompressione,

      - la figura 21 rappresenta, a titolo riepilogativo, la generale struttura di un sistema secondo l'invenzione, e

20       - la figura 22, comprendente tre porzioni sovrapposte indicate rispettivamente con a), b), e c) illustra in particolare l'applicazione della soluzione secondo l'invenzione al trattamento di segnali video.

Descrizione particolareggiata di un esempio preferito di attuazione dell'invenzione

25       Così come già si è detto, la soluzione secondo l'invenzione si riferisce alla compressione/decompressione di dati digitali.

30       L'elemento comune di entrambe tali fasi viene denominato "configurazione": un esempio di una tale configurazione è rapprentato nella figura 1.

35       Nello svolgimento della funzione di compressione, la configurazione ha lo scopo di descrivere in quale modo le informazioni digitali di partenza (sorgenti) devono essere scomposte e quindi come tali scomposizioni devono essere trattate.

Nello svolgimento della funzione di decompressione, la configurazione ha lo scopo di descrivere come i dati compressi vengono riconosciuti e sottoposti a decompressione: in pratica come devono  
5 essere ricostruite le informazioni originali.

Il seguito della presente descrizione ci si riferirà, a puro titolo di esempio, all'unità fondamentale dell'informazione digitale nel settore del trattamento dei segnali di immagine (Image Processing),  
10 considerando quindi la dimensione di ogni dato pari ad un byte (campo [0...., 255]).

Si sottolinea che questo è unicamente un esempio riferito al campo di applicazione preferenziale dell'invenzione: tale riferimento non va quindi in  
15 alcun interpretato come limitativo della portata e del campo di applicazione dell'invenzione.

Le configurazioni usate risultano composte da  $N[a]+N[b]+1$  valori, dove  $N$  identifica il numero di parti in cui vengono scomposti i dati dell'immagine ed  
20 1 dato per identificare la quantità di tali dati che devono essere raggruppati.

I parametri "a" e "b" hanno a loro volta un ulteriore significato.

Il parametro "a" serve per identificare la  
25 dimensione di ogni sotto-parte definito dalla scomposizione, mentre il parametro "b" identifica la modalità di trattamento di tali sotto-parti. Va ricordato che tali modalità trattano i dati e in modo indipendente gli uni dagli altri.

30 La somma degli  $N[a]$  deve essere pari alla dimensione massima del dato che è alla base del processo di compressione (il byte negli esempi su cui si fonda - in modo non limitativo - la presente descrizione).

Per le modalità identificate da N[b] si può far riferimento alla Tabella I che segue, la cui rilevanza risulterà più evidente nella successiva descrizione della fase di analisi dei dati originali.

5

TABELLA I

MODO	SIGNIFICATO
1	Media
2	Compressione
3	Originale
4	Fisso
...	< open >

Come primo esempio illustrativo della soluzione secondo l'invenzione, verrà considerata la  
10 configurazione così composta:

- N = 3

- "a":

- N[1°] = 3

- N[2°] = 3

15 - N[3°] = 2

- "b":

- N[1°] = Compressione ⇒ 2

- N[2°] = Originale ⇒ 3

- N[3°] = Media ⇒ 1

20 - # raggruppamenti = 4

che corrisponde appunto alla configurazione rappresentata nella figura 1.

Ciascun dato digitale originale comprende come si è visto quattro byte, ossia un certo numero di cifre  
25 (32 cifre binarie, nell'esempio illustrato) e dev'essere compresso in un formato compresso in cui ciascun dato comprende un numero di cifre inferiore o minore.

Come considerazione di carattere generale, si osserva che la compressione si basa sulla reiterazione del processo di suddivisione della sorgente in un numero costante di parti che costituiscono dunque  
5 l'elemento base di tutto il processo ed di cui viene creata la relativa rappresentazione compressa.

E' importante notare che tali suddivisioni vengono trattate indipendentemente le une dalle altre in modo da ottenere il triplice scopo di:

- 10 - semplificare il processo di compressione e decompressione potendo trattare ogni oggetto separatamente senza alcun dato aggiuntivo,
- limitare il numero e la dimensione dei buffer interni per memorizzare eventualmente tali  
15 informazioni, e
- limitare la traslazione di errori che possono essere compiuti.

Per quanto riguarda il primo aspetto va notato che se la compressione di ogni blocco, derivante dalla  
20 suddivisione dell'immagine, dovesse dipendere dalla compressione del blocco precedente si creerebbe una dipendenza tale da rendere necessaria la trasmissione anche della configurazione migliore per ogni blocco. In caso di "lacuna" nell'informazione compressa non  
25 sarebbe più possibile ricostruire i dati da quel punto in poi, né attuare una decompressione in parallelo di più dati compressi.

Si può quindi affermare che all'interno dei dati compressi coesistono tutte le informazioni necessarie  
30 la loro decompressione. Ogni blocco compresso è strutturato e composto da informazioni diverse rispetto agli altri mentre la configurazione con cui sono stati trattati è la medesima.

In questo modo è possibile semplificare il motore  
35 di decompressione in quanto lo stesso deve essere



informato della "configurazione" solamente una volta, evitando di doverla trasmettere con ogni dato. E' così possibile parallelizzare più operazioni di decompressione, riducendo altresì la quantità di dati  
5 che deve essere trasmessa.

Alla base di questo fatto sta l'adattatività del processo di compressione che si evince dalla possibilità di poter modificare in condizioni di runtime i parametri di compressione e quindi di  
10 decompressione (dunque la configurazione).

La temporizzazione minima consigliata per compiere la modifica dei suddetti parametri potrebbe essere fissata ad ogni immagine. Questo in quanto il compressore può aggiungere ad ogni segnale di  
15 sincronizzazione dell'inizio della nuova immagine un header relativo al tipo di trattamento che l'immagine è destinata a subire (essendo in pratica sufficiente memorizzare nell'header la configurazione stessa).

Il decompressore può invece leggere l'header  
20 dell'immagine compressa per riprogrammarsi in modo tale da riuscire a decomprimere e ricostruire correttamente l'immagine sorgente. L'esigenza di un header per ogni immagine deriva dal fatto che, essendo i due processi attivati in istanti differenti su dati differenti,  
25 questi devono aver modo di sincronizzarsi fra loro.

Ad ulteriore esemplificazione dei criteri di compressione suscettibili di essere utilizzati nell'ambito dell'invenzione, si supponga sempre di avere a che fare con il segnale di ingresso (segnale di  
30 immagine) suddiviso in porzioni secondo i criteri descritti in precedenza, ossia porzioni composte da quattro byte (o pixel) per volta. Quindi, l'unità base risulta composta da dati per un totale di 32 bit.

Procedendo alla fase di scomposizione 10 si noterà  
35 che dalla scelta di configurazione fatta (riprodotta

per chiarezza nella figura 4) si deriva che la modalità con cui devono essere suddivisi e scomposti i byte prevede essenzialmente di creare quattro differenti sottoblocchi di dati divisi in tre differenti sezioni

5   ossia:

- una sezione "higher" composta da tre bit,
  - una sezione "middle" anch'essa composta da tre bit, e
  - una sezione "lower" composta dai rimanenti due
- 10   bit.

Il tutto secondo i criteri schematicamente rappresentati nella figura 5, letta con immediato richiamo alle figura 4 e 6 che la precedono e la seguono.

15   Dall'osservazione dei dati di configurazione (letti in modo coordinato con la Tabella I riportata in precedenza) si nota ancora che la parte "b" identifica le differenti modalità con cui devono essere trattate le tre sezioni ossia:

- 20   - la sezione "higher" in modalità compressa (modo 2 della Tabella I),
  - la sezione "middle" in modalità originale (modo 3 della Tabella I), e
  - la sezione "lower" in modalità media (modo 1
- 25   della Tabella I).

In particolare, con modalità "media" si identifica qui (a titolo di esempio) il calcolo della media aritmetica della somma dei dati ( $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$ ) all'interno della stessa sezione.

30   Con modalità "compressione" si identifica qui (sempre a titolo di esempio) la verifica dell'occorrenza della sezione ( $A_1$ ) contenuta nel primo dato in modo identico rispetto alle sezioni omologhe ( $A_2$ ,  $A_3$ ,  $A_4$ ) contenute nei restanti sottoblocchi di

35   dati.

Il numero totale dei dati in esame viene identificato dal registro "raggruppamenti".

Risulta quindi necessario un flag per informare la decompressione del tipo di risultato ottenuto. In generale, tale flag risulta pari ad 1 in caso di successo (Y) e 0 in caso contrario (N). Per successo si identifica l'occorrenza della sezione  $A_1$  in modo identico in tutti gli altri sottoblocchi: ossia  $A_1 = A_2 = A_3 = A_4$ .

10 Per modalità "originale" si identifica in generale la trasmissione diretta dei dati appartenenti alla stessa sezione senza alcuna modifica.

Infine, con modalità "fissa" si identifica, solo in fase di decompressione, l'assegnazione di un valore  
15 fisso a tutti i dati appartenenti alla stessa sezione. Il decompressore utilizzerà pertanto il valore memorizzato in un apposito registro.

La figura 6, di per sé formalmente identica alle figure 1 e 4, rappresenta di fatto il complesso di dati  
20 identificativi della configurazione.

Le figure 7, 8 e 9 illustrano invece a livello grafico, secondo criteri di per sé evidenti, l'attuazione delle varie operazioni descritte in precedenza, svolte al fine di computare le tre sezioni  
25 denominate "higher" (figura 7 - sottoposta a compressione, con generazione di un flag di compressione: Y o N, a seconda dell'esito), "middle" (figura 8 - trasmessa in formato originale) e "lower" (figura 9 - sottoposta a media, dove i valori  $T^*$  sono i  
30 risultati parziali ed il valore  $C^*$  rappresenta la media aritmetica finale calcolata).

I risultati così ottenuti vengono quindi sottoposti alla fase vera e propria di compressione, ossia all'operazione di aggregazione che porta a  
35 costruire il "bitstream" compresso di uscita.

In sostanza, tale bit stream o flusso di bit consiste nella concatenazione successiva delle sezioni in cui sono stati scomposti e compressi i byte in ingresso. Per tale operazione di concatenazione non  
5 esiste alcuna metodologia che possa portare ulteriori benefici alla riduzione della quantità dei dati trasmessi.

Quindi, seguendo l'esempio discusso finora è possibile concatenare le sezioni higher, middle e lower  
10 nello stesso ordine con cui le stesse sono state originate, ovvero con un ordine diverso.

E' comunque possibile definire una strutturazione ad alto livello dei dati compressi, ovvero dividerli in due regioni ben definite: la zona riservata alla  
15 scrittura di flag di controllo e la zona riservata alla scrittura vera e propria dei dati. Tali zone sono state schematicamente rappresentate nella figura 10, dove sono indicate rispettivamente con CFS e CDS.

L'introduzione di tale schematizzazione, che  
20 verrà ulteriormente illustrata nel seguito, serve per accelerare la fase di ricostruzione dei dati durante l'applicazione della funzione di decompressione.

Si apprezzerà ancora che la soluzione secondo l'invenzione risulta di per sé trasparente rispetto  
25 agli specifici criteri o algoritmi suscettibili di essere utilizzati, ad esempio, per svolgere la funzione di compressione ovvero di media delle varie sezioni trattate. Detto altrimenti, l'applicazione dell'invenzione non è in alcun modo vincolata al fatto  
30 che, ad esempio, l'operazione di compressione venga svolta esattamente con le modalità rappresentate nella figura 7 ovvero che l'operazione di media venga svolta secondo le specifiche modalità illustrate nella figura 9.

Nel seguito verranno presentate varie possibilità che possono verificarsi durante la compressione, la differenza essendo qui suscettibile di manifestarsi unicamente nella sezione relativa alla compressione.

5 Ciò dipende dalla configurazione illustrata a titolo di esempio. Si apprezzerà comunque che lo stesso principio, con le relative conseguenze, può applicarsi anche ad altre modalità suscettibili di essere espresse dal fattore "b" della configurazione.

10 Concentrandosi per semplicità sull'esempio della compressione attuata secondo i criteri rappresentati nella figura 7, si nota che nel caso in cui esista almeno una sola occorrenza diversa dal candidato chiave (il primo nella lista,  $A_1$ ), ossia quando anche uno solo  
15 fra  $A_2$ ,  $A_3$ , o  $A_4$  sia diverso da  $A_1$ , il flag relativo viene posto al valore negativo (N), il che costringe a trasmettere tutti i dati ( $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ ,  $A_4$ ).

Lo schema della figura 11 rappresenta il caso in cui si verifica l'insuccesso della compressione, con la  
20 prima cella che rappresenta il flag N ( $N = no$ ).

Lo schema della figura 12 rappresenta invece il caso in cui si verifica il successo della compressione, indicato dal fatto che la prima cella viene posto a valore positivo Y ( $Y = yes$ ).

25 Ponendo a confronto le due eventualità è possibile osservare la quantità di guadagno di codifica conseguibile. E' chiaro che tale guadagno, a parità di informazione e sorgente, può variare molto al variare dei parametri e delle modalità di analisi.

30 Ad esempio, nello schema della figura 13 sono posti a confronto, a parità di dati di ingresso ID, i risultati di compressione conseguibili nel caso peggiore WC e nel caso migliore BC. Il tutto con riferimento alla generale struttura del bitstream dei  
35 dati compressi.

La figura 14 fa vedere, usando la stessa rappresentazione grafica, che, ipotizzando di applicare la modalità di compressione per entrambe le sezioni A e B (negli esempi presentati in precedenza le modalità  
5 erano rispettivamente compressione, per la sezione A e originale, per la sezione B) è possibile raggiungere un rapporto di compressione finale maggiore.

In particolare, la figura 14 rappresenta, oltre alle condizioni di caso peggiore WC (esito negativo  
10 della compressione in entrambi i casi) e di caso migliore BC (esito positivo in entrambi i casi), anche una situazione intermedia HC (esito negativo nel primo caso e positivo nel secondo).

Il tutto con la necessaria previsione di due  
15 corrispondenti flag F1 e F2. Si apprezzerà che l'esempio fatto con riferimento alla figura 14 corrisponde alla configurazione 3 3 2; 2 2 1; 4.

Cambiando radicalmente la configurazione secondo lo schema rappresentato nella figura 15 è possibile  
20 ottenere altri fattori complessivi di compressione.

Per immediato riferimento, lo schema di configurazione rappresentato nella figura 15 (3 2 2 1; 2 3 1 4; 4) prevede, come nel caso degli esempi visti in precedenza, una configurazione su quattro sotto-  
25 blocchi. Tali sottoblocchi comprendono quattro sezioni di cui:

- la prima è composta da tre bit in modalità compressa (modo 2 nella Tabella I vista in esordio della presente descrizione),
- 30 - la seconda comprende due bit in modalità originale (modo 3 della Tabella),
- la terza comprendente anch'essa due bit in modalità media (modo 1 della Tabella), e
- la quarta comprendente un unico bit trasmesso  
35 evidentemente in modalità fissa (modo 4 della Tabella).

Nel bit stream compresso rappresentato nella figura 16 (tanto nel modo peggiore WC quanto nel modo migliore BC, a seconda dell'esito della compressione), a causa della modalità 4 (fissa) adottata sulla quarta  
5 sezione dei dati di ingresso, le informazioni relative proprio a questa stessa quarta sezione non sono presenti. Sarà infatti il decompressore a ricostruire tale dato, eventualmente tramite l'utilizzo di uno specifico registro programmabile.

10 L'ultima fase del procedimento di compressione, schematizzata dal blocco 13 della figura 2, è la trasmissione della struttura dati in formato compresso in vista della sua memorizzazione su un supporto o su più supporti di memoria di massa all'interno del  
15 sistema.

#### Decompressione

Nel momento in cui nell'ambito di un sistema viene attuata un'operazione di compressione attuata secondo i criteri descritti in precedenza, all'interno dello  
20 stesso sistema risulta necessario prevedere in cascata la fase di lettura dei dati dalla memoria una funzione inversa corrispondente.

Tutto ciò avviene secondo le modalità genericamente illustrate nella figura 17. Tale figura  
25 illustra come è possibile passare dei dati di ingresso ID' (corrispondenti ai dati compressi OD visti nella figura 2) a dati di uscita OD' destinati a corrispondere virtualmente ai dati di ingresso ID della figura 2.

30 Si è qui usato il termine "virtualmente" per tener conto dei possibili fenomeni di perdita di informazione di cui si è detto in precedenza e di cui si dirà ancora nel seguito.

In modo sostanzialmente duale rispetto alla  
35 sequenza di operazioni rappresentata nella figura 2, il

processo di decompressione rappresentato nella figura 17 prevede la sequenza di operazioni comprendente:

- un'operazione di estrazione dei flag 20,
- un'operazione di decomposizione 21,
- 5    - un'operazione di ricostruzione 22, e
- un'operazione di trasmissione 23.

La differenza fondamentale fra il processo di compressione e quello di decompressione consiste nel fatto che in fase di decompressione non deve essere  
10    compiuto alcun calcolo particolare, nel senso che il motore di decompressione deve solamente leggere i dati della memoria e scomporre il relativo flusso nel modo opportuno estraendo quindi in modo corretto le informazioni necessarie per poter ricostruire  
15    esattamente i dati di partenza.

L'unica informazione necessaria alla funzione di decompressione è la "configurazione" utilizzata nella funzione di compressione. Tale informazione è destinata a risiedere all'interno di uno specifico  
20    registro di comunicazione fra il compressore ed il decompressore oppure, in caso in cui la configurazione venga modificata immagine per immagine, all'interno di un header del bitstream compresso.

In linea di massima, i permessi di accesso al  
25    suddetto registro/header saranno di sola scrittura per il compressore e di sola lettura per il decompressore.

In ogni caso, il riferimento è sempre la stessa configurazione iniziale ossia, con riferimento agli esempi fatti nelle figure 1 a 13, la configurazione  
30    iniziale 3 3 2; 2 3 1; 4.

Nella fase 20 di estrazione dei flag si realizza la lettura della parola compressa ed in particolare del contenuto della sezione contenente il flag di compressione (F o F1, F2, con riferimento all'esempio  
35    della figura 14).



Data la dimensione variabile di tale parola, la dimensione sarà pari al caso peggiore consentito dalla configurazione della compressione.

Il valore del flag di compressione (Y o N) indica  
5 in generale il successo oppure l'insuccesso della fase di analisi della compressione.

Tale dato viene utilizzato dalla successiva fase di decomposizione, che agisce essenzialmente su strutture di dati del tipo di quelle schematicamente  
10 rappresentate nella figura 18, figura della quale si apprezzerà l'immediata corrispondenza alle configurazioni rappresentate nelle figure 11 e 12 viste in precedenza.

Infatti, nella fase di decomposizione 21 il valore  
15 del flag di compressione indica il numero di volte che è necessario estrarre l'informazione associata al flag del bitstream compresso.

In caso di successo (flag con valore Y) bisogna estrarre solamente un dato ( $A_1$ ) destinato ad essere a  
20 sua volta replicato n volte dalla successiva fase di ricostruzione.

Nel caso di insuccesso (flag con valore N) bisogna semplicemente estrarre dal bitstream i dati ( $A_1, A_2, A_3, A_4$ ), i quali non subiscono alcuna replica ulteriore.

25 Successivamente è necessario estrarre i dati trasmessi in formato originale (modalità 3 della Tabella I). Anche questi dati ( $B_1, B_2, B_3, B_4$ ) non subiranno alcuna replica.

Alla fine si procede all'estrazione dell'ultimo  
30 dato, quello rappresentativo della media aritmetica dei dati originale.

Chiaramente tale dato ( $C^*$ ) è destinato ad essere replicato nella successiva fase di ricostruzione.

I risultati ottenibili dalla fase di  
35 decomposizione sono rappresentati nella figura 19, di

cui si apprezzerà il carattere duale rispetto alle rappresentazioni comprese nelle figure 7, 8 e 9.

Nella fase di ricostruzione 22 i dati originali vengono ricostruiti posizionandoli correttamente  
5 all'interno della struttura di base, che nell'esempio di riferimento è ancora il byte che rappresenta il pixel dell'immagine in ingresso.

Più dettagliatamente, in relazione al contenuto della prima parte della figura 19, viene replicata o  
10 meno l'informazione contenuta nella sezione  $A_1$ . Lo stesso accade per l'ultima sezione dove è contenuta la media ( $C^*$ ) delle sezioni C.

Compiuta ogni necessaria replica di dati bisogna effettivamente riempire i quattro byte così da  
15 pervenire al risultato di ricostruzione rappresentato nella figura 20.

Tale risultato corrisponde alla ricostruzione di tutta l'informazione necessaria.

Va notato che la media sulla sezione C e la sua  
20 successiva replica potrebbero portare ad un decadimento della qualità finale dell'informazione digitale.

Bisogna quindi usare con particolare attenzione la configurazione di compressione relativa tale modalità ed anche la dimensione dei dati destinati ad essere  
25 mediati.

Al riguardo, conviene però osservare che una delle caratteristiche fondamentali della soluzione secondo l'invenzione è data dal fatto che dopo la prima operazione di compressione e di decompressione si  
30 ottiene una nuova struttura dati la cui sezione finale (ossia la sezione C) è costituita sempre dallo stesso valore (blocco per blocco), destinato a rimanere tale per tutte le altre iterazioni a cui viene sottoposta successivamente l'informazione digitale.

Tale concetto corrisponde in pratica ad una invarianza temporale della compressione.

In tali situazioni, e nell'evenienza in cui tale media fosse uguale per tutta l'immagine, può risultare  
5 conveniente modificare la configurazione in modo tale da settare la modalità fissa (4) per tale sezione e caricare il valore C\* nell'apposito registro di comunicazione. Questo tipo di modifica è comunque ipotizzabile in presenza di strutture di analisi e  
10 pretrattamento di immagini poste a monte della fase di compressione, ovvero prima dell'applicazione del procedimento descritto.

Anche nel caso della sequenza funzionale della figura 19, l'ultima operazione è costituita dalla fase  
15 di trasmissione 23, ossia alla reale trasmissione del risultato della ricostruzione dei byte verso i blocchi di sistema dedicati al trattamento dei dati relativi.

Lo schema della figura 21 illustra una possibile configurazione di un sistema operante secondo  
20 l'invenzione.

Nell'ambito di tale sistema, indicato complessivamente con 30, il blocco 40 rappresenta essenzialmente il modulo di compressione (scomposizione, analisi, formattazione e trasmissione)  
25 destinato ad operare su segnali di ingresso provenienti da una sorgente 50 in vista della trasmissione (in forma compressa) verso una memoria indicata con 60.

La comunicazione fra il blocco 40 e memoria 60 avviene attraverso un bus di comunicazione 70.  
30 Quest'ultimo assicura anche la comunicazione in verso opposto fra la memoria 60 ed uno o più moduli 80 destinati a svolgere la funzione di decompressione (estrazione dei flag, scomposizione, ricostruzione e trasmissione) descritta in precedenza in vista

dell'alimentazione dei dati ricostruiti verso uno o più moduli di trattamento indicati con 90.

I dati risultanti dalle relative funzioni di trattamento possono essere inviati verso l'esterno e/o  
5 essere rinviati verso la sorgente 50 in vista della possibile combinazione con dati provenienti da sorgenti esterne su una linea complessivamente indicata con 100.

Lo schema rappresentato nella figura 21 deve essere in ogni caso visto come puramente  
10 esemplificativo di una soluzione architettureale suscettibile di implementare la soluzione secondo l'invenzione.

In particolare, tale soluzione architettureale è suscettibile di essere implementata:

15 - a livello hardware, ad esempio, sotto forma di un processore,

- a livello di IP (ad esempio sotto forma di una descrizione in VHDL) utilizzabile per la progettazione, la simulazione e la emulazione di un tale processore,

20 - tramite un elaboratore digitale di tipo general purpose, suscettibile, in quanto opportunamente programmato, di attuare le modalità di funzionamento descritte, e

- sotto forma del prodotto informatico (residente  
25 su un supporto fisico quale un disco ovvero suscettibile di essere scaricato da una rete) che caricato e fatto girare in un dispositivo elaboratore del tipo descritto, consente a quest'ultimo di attuare le modalità di funzionamento in precedenza considerate.

30 Le esperienze condotte dalla Richiedente, soprattutto nel campo del trattamento delle immagini, hanno dimostrato la possibilità di utilizzare in modo vantaggioso la soluzione secondo l'invenzione su immagini di diverso formato di campionamento (4:4:4,  
35 4:2:2 e 4:2:0) quantificando il rapporto di

compressione e valutando la qualità prodotta in vari casi di diversa correlazione spaziale fra le componenti di cromaticità.

Relativamente alle configurazioni, sono state  
5 utilizzate di preferenza configurazioni tali da scomporre ogni byte dell'immagine in tre sezioni separate, di cui una in modalità compressione, una in modalità originale e l'ultima in modalità media.

I motivi che portano a preferire questo tipo di  
10 selezione derivano dalla considerazione del fatto che, essendo la maggior variabilità dei dati presente nella parte meno significativa dei pixel, si presuppone che la probabilità di compressione (nella funzione di compressione, ovviamente) di tale sezione sia  
15 relativamente bassa, tale quindi da suggerire di utilizzare la modalità originale. Tutto ciò al contrario di quanto si suppone possa verificarsi nella parte più significativa di ogni pixel dell'immagine, per la quale si è deciso di applicare la modalità  
20 compressione.

Per quanto riguarda la valutazione della perdita di qualità prodotta in fase di compressione utilizzando la modalità media, è possibile dividere ulteriormente la sezione meno significativa in due parti, con la  
25 parte superiore trattata con modalità originale e l'altra in modalità media.

Indipendentemente dal contenuto dell'immagine stessa, la porzione di byte dedicata a quest'ultima sezione è limitata di solito agli ultimi due o tre bit.  
30 Questo proprio per limitare, in caso di alta variabilità del contenuto di tale parte, la perdita di qualità finale.

Relativamente al numero di pixel suscettibile di essere considerati contemporaneamente per definire  
35 l'entità base dei processi di compressione e

decompressione, è possibile quantificare tale valore in base a due elementi: divisione e unicità.

Ossia, in caso di utilizzo della modalità media, per rendere più veloce e semplificare il calcolo, 5 sarebbe auspicabile utilizzare un numero di dati H pari ad una potenza di due. Tutto questo in modo tale da consentire al sistema di eseguire la divisione tramite una semplice operazione di shift binario e senza l'impiego di design dedicati a tale operazione di 10 divisione. Inoltre, a causa della ridondanza introdotta dal flag delle modalità di compressione, tale valore H dovrebbe essere maggiore od uguale a quattro. Per questo motivo, nella maggior parte delle sperimentazioni condotte sono stati utilizzati un 15 numero di pixel pari a 16.

Per quanto riguarda l'unicità è possibile far basare sulla stessa configurazione di processamento le funzioni di compressione e decompressione delle informazioni relative alla luminanza ed alla 20 crominanza.

Le esperienze condotte con diverse modalità (2 2 4, 2 3 3, 2 4 2, 3 2 3, 3 3 2, 4 2 2 - utilizzando peraltro la stessa modalità, ovvero la 2 3 1 per 25 identificare il tipo di trattamento dei dati scompattati) dimostrano l'opportunità di scegliere un valore pari a 16 per quanto riguarda il numero di pixel destinati ad essere trattati contemporaneamente.

Questa scelta si dimostra vantaggiosa per semplificare la fase di estrazione delle prestazioni, 30 ma anche per tre altri fattori, ossia:

- tenere in considerazione le diverse tipologie di sottocampionamento delle informazioni di crominanza: 4:2:2 e 4:2:0,

- evitare una frammentazione interna ai blocchi di 35 immagine, e

- tenere maggiormente in considerazione la correlazione tra pixel appartenenti ad una stessa riga.

In particolare, per il numero di pixel presenti su una stessa riga è stato preso come riferimento il  
5 valore 720. Dai risultati si nota infatti che il numero di porzioni in cui verrebbe scomposta ogni riga dell'immagine varia in dipendenza dal formato delle immagini, ma in modo indipendente dal numero di pixel per ogni porzione (16).

10 Nei formati 4:2:2 e 4:2:0 si verrebbero a creare porzioni composte in parte da pixel della riga in esame e in parte vuote: bisogna infatti ricordare che tra la fine di una riga e l'inizio della successiva ci sono istanti di tempo in cui non si ha informazione in  
15 ingresso (sincronismo di linea).

Una possibile soluzione consiste quindi nel ridurre il numero di pixel per ogni porzione di cromaticanza in base al formato dell'immagine. Così facendo non viene creata alcuna frammentazione interna  
20 ed il numero di porzioni in cui viene scomposta ogni riga dell'immagine è costante.

Lo schema della figura 22 rappresenta un numero di pixel per porzioni di linea con rispettivo riferimento:

- ad un formato 4:4:4 su 720 pixel su ogni riga  
25 (figura 22a),
- ad un formato 4:2:2 su 360 pixel (figura 22b), e
- ad un formato 4:2:0 su 180 pixel (figura 22c).

La Tabella II che segue mostra il rapporto fra numero di pixel per linea e numero di pixel per  
30 porzione considerato al momento consigliabile. Di nuovo, il fatto di definire un numero di pixel per porzione pari a 8 implicherebbe, per il formato 4:2:0, una scomposizione pari a due pixel per porzione. Quindi il rapporto di compressione potrebbe venire vanificato

con la ridondanza introdotta dal flag della modalità di compressione.

TABELLA II

5

	RAPPORTO PIXEL/PORZIONE					
	Y/64	Y/32	Y/16	Y/8	Y/4	Y/2
720/X	11.25	22.5	45	90	180	360
360/X	5.625	11.25	22.5	45	90	180
180/X	2.8125	5.625	11.25	22.5	45	90

Come si è detto, la soluzione in precedenza descritta è potenzialmente lossy, ovvero con possibile perdita di informazione.

Da ciò si ricava che i campi di applicazione dove è possibile applicare il tipo di compressione e decompressione descritto sono in via principale quelli di trattamento dei segnali video e/o audio in cui è possibile accettare una perdita contenuta della qualità dell'informazione a patto che la stessa non sia visibile e/o udibile.

In base alle caratteristiche stesse dell'informazione digitale è comunque possibile selezionare alcune configurazioni, ed in particolare le modalità, tali per cui non viene effettuato alcuna elaborazione atta a modificare il contenuto stesso dei dati così come avviene per la modalità media. In questo modo la soluzione descritta diventa assolutamente esente da perdite.

Per ottenere tale risultato esistono due possibilità:

- la prima è quella di conoscere a priori il tipo di dati che devono essere trattati ed adottare di conseguenza off-line la strategia di trattamento, e



- la seconda è quella di porre a monte della fase di compressione una struttura in grado di determinare on-line la migliore configurazione da applicare in seguito.

5 Per quanto riguarda il trattamento del segnale video, la soluzione secondo l'invenzione si presta con particolare vantaggio ad essere utilizzata per applicazioni quali:

- teletext, videotext o viewdata, caratterizzate  
10 da una mappa di colori limitata,

- background, dove la perdita di qualità è mascherata dal contenuto in foreground, e

- in generale, immagini con spettro a basso contenuto in frequenza.

15 Per quanto riguarda i sistemi in cui la soluzione secondo l'invenzione è suscettibile di essere utilizzata con maggior vantaggio è possibile osservare che la compressione determina una riduzione della quantità di dati trasmessi sui canali di comunicazione,  
20 incrementando di fatto la larghezza di banda e dunque la dimensione dei canali stessi ed infine la dimensione finale utile dei meccanismi di memorizzazione.

La soluzione secondo l'invenzione si presta quindi ad essere utilizzata con particolare vantaggio in tutte  
25 le situazioni in cui viene fatto uso di memorie cache, dove, aumentando il numero di dati che possono essere letti e/o scritti, si aumenta la probabilità di hit diminuendo quella di miss, evitando così i necessari refill. In alternativa, sono da prendersi in  
30 considerazione applicazioni nei settori dove esistono vicoli legati allo spazio occupato dalla dimensione della memoria, così da poter garantire la percentuale minima di riduzione della stessa. Sono ancora vantaggiose le applicazioni in tempo reale, data la  
35 natura altamente parallela dei processi di compressione

e di decompressione: fattori, questi, che consentono una parallelizzazione dei processi garantendo al tempo stesso un ridotto consumo di energia a livello di elaborazione.

5           Naturalmente, fermo restando il principio dell'invenzione, i particolari di realizzazione e le forme di attuazione potranno essere ampiamente variati rispetto a quanto descritto ed illustrato, senza per questo uscire dall'ambito della presente invenzione  
10   così come definita dalle rivendicazioni annesse.

## RIVENDICAZIONI

1. Procedimento per convertire segnali sotto forma di dati digitali fra un formato originale (ID), in cui ciascun dato comprende un certo numero di cifre, ed un  
5 formato compresso, in cui ciascun dato comprende un numero di cifre (WC, HC, BC) inferiore a detto certo numero, caratterizzato dal fatto che comprende l'operazione di associare a detti dati una configurazione comprendente:
- 10       - un primo campo identificativo di un numero di sotto-blocchi (byte #1, byte #2, byte #3, byte #4) in cui viene suddiviso detto certo numero di cifre,
- un secondo campo che identifica, nell'ambito di detti sotto-blocchi, rispettive sezioni ( $A_1, A_2, A_3, A_4;$   
15  $B_1, B_2, B_3, B_4; C_1, C_2, C_3, C_4$ ), ciascuna comprendente un numero dato di cifre, e
- un terzo campo che identifica, per dette sezioni, una rispettiva fra una pluralità di modalità suscettibili di essere adottate per la conversione  
20 delle cifre comprese in detta sezione fra detto formato originale e detto formato compresso.
2. Procedimento secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che dette cifre sono cifre binarie.
- 25       3. Procedimento secondo la rivendicazione 1 o la rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto che detta pluralità di modalità comprende modalità di conversione scelte nel gruppo costituito da:
- media delle cifre comprese nella sezione,
- 30       - compressione delle cifre comprese nella sezione,
- identità fra detto formato originale e detto formato compresso delle cifre della sezione, e
- assegnazione di un valore fisso a tutte le cifre appartenenti alla sezione.

14. Procedimento secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che, nella conversione da detto formato compresso a detto formato originale, comprende le operazioni di:

5       - riconoscere, in detti dati compressi, le informazioni identificative delle modalità adottate per la conversione in formato compresso in ciascuna di dette sezioni,

10       - decomporre il dato compresso in dette rispettive sezioni generando, per ciascuna sezione in formato compresso, almeno una corrispondente sezione in formato originale, e

15       - ricostruire detti dati in detto formato originale riorganizzando dette sezioni in formato originale in detti sotto-blocchi.

15. Procedimento secondo la rivendicazione 5 e la rivendicazione 14, caratterizzato dal fatto che comprende l'operazione di generare, per ciascuno di detti sotto-blocchi, una rispettiva sezione con valore  
20       corrispondente a detto valore identico.

16. Sistema (30) per il trattamento di segnali sotto forma di dati digitali comprendente almeno una memoria (60) ed almeno un'unità (90) per l'elaborazione di detti segnali, caratterizzato dal fatto che  
25       comprende inoltre:

- un'unità di ingresso (50) suscettibile di essere alimentata con segnali sotto forma di dati digitali,

30       - almeno un modulo di compressione (40) per ricevere detti segnali sotto forma di dati digitali e convertirli da un formato originale in un formato compresso alimentandoli quindi a detta memoria (60) in detto formato compresso, e

35       - almeno un modulo decompressore (80) suscettibile di ricevere detti dati in detto formato compresso da detta memoria (60) e di convertire detti segnali in

formato compresso in dati in detto formato originale, alimentando quindi detti dati in formato originale a detto almeno un modulo di elaborazione (90),

5 ed in cui detto almeno un modulo di compressione (40) e detto almeno un modulo di decompressione (90) operano secondo il procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1 a 15.

10 17. Sistema secondo la rivendicazione 17, caratterizzato dal fatto che detta almeno un'unità per il trattamento di detti segnali (90) genera dati in uscita che vengono rinviati verso detta unità di ingresso (50).

15 18. Prodotto informatico direttamente caricabile nella memoria di un elaboratore digitale e comprendente porzioni di codice programma che, quando fatti girare su un elaboratore digitale, realizzano il procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1 a 16.

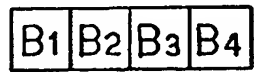
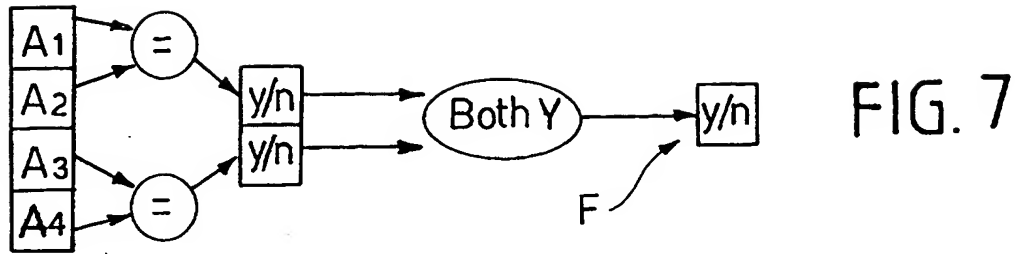


FIG. 8

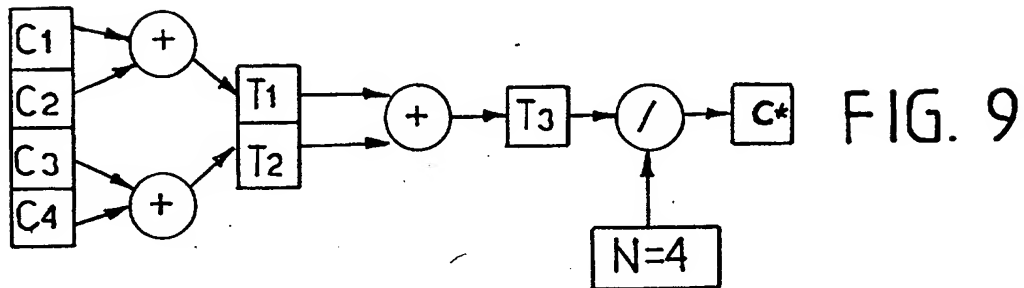


FIG. 9

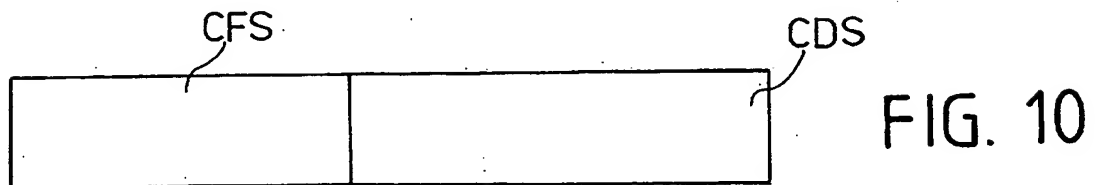


FIG. 10

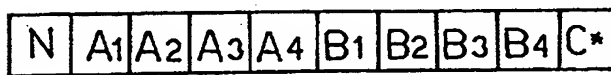


FIG. 11

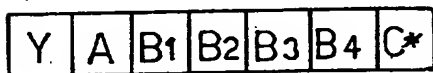


FIG. 12

FIG. 13

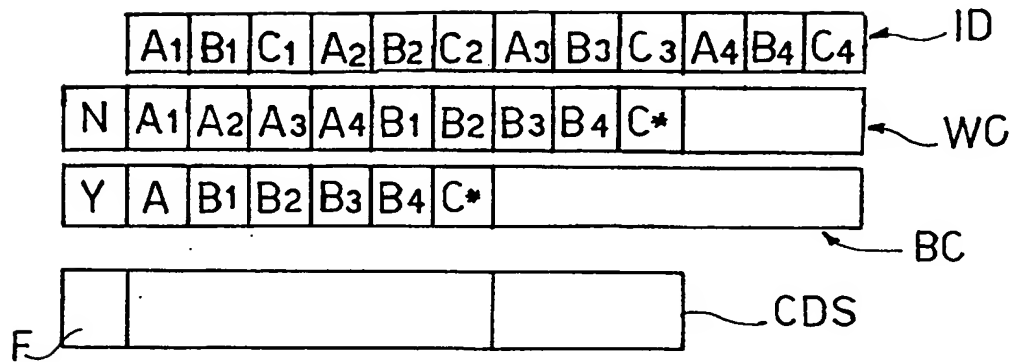


FIG. 14

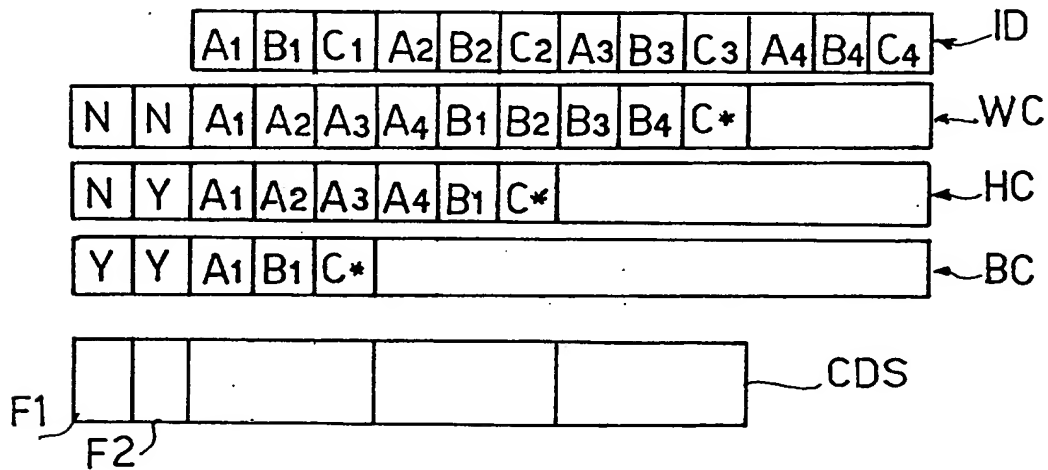


FIG. 15

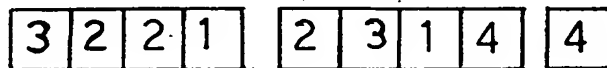
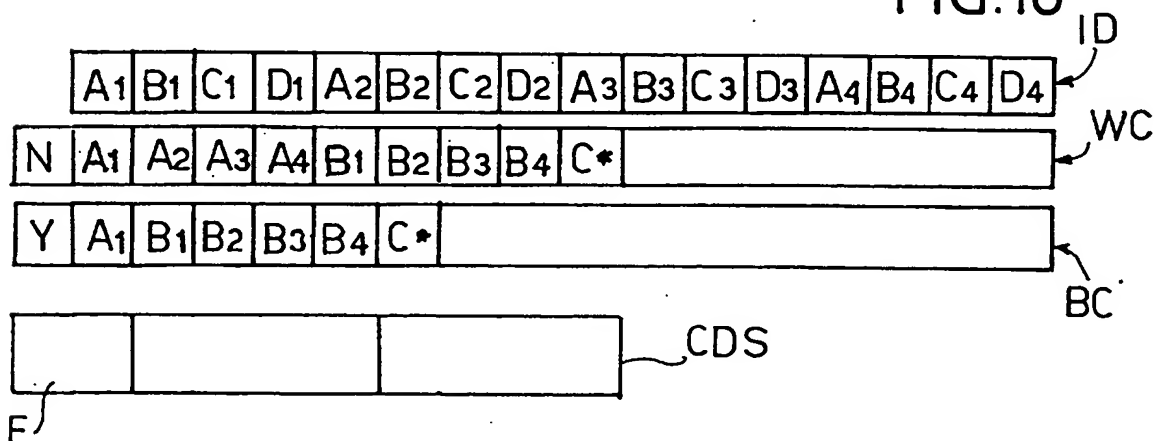


FIG. 16



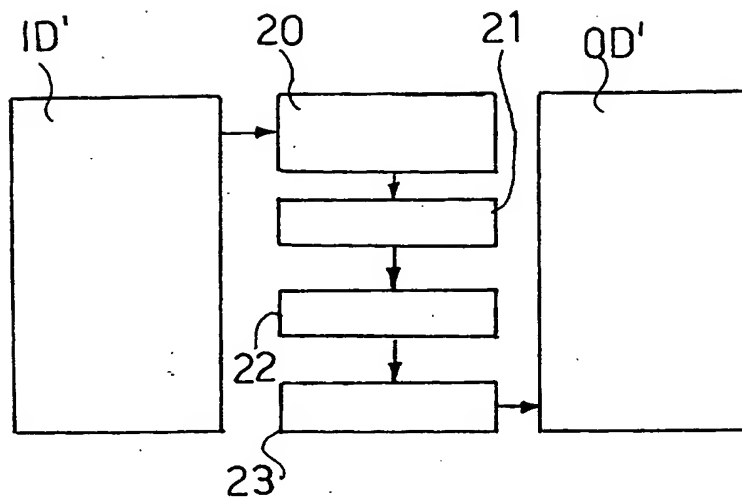


FIG. 17

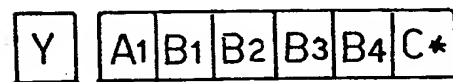


FIG. 18



FIG. 19

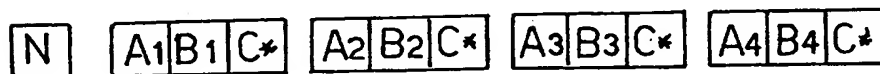
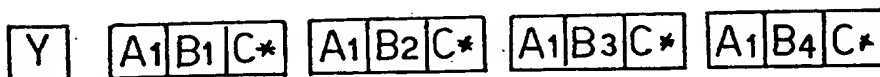


FIG. 20



FIG. 21

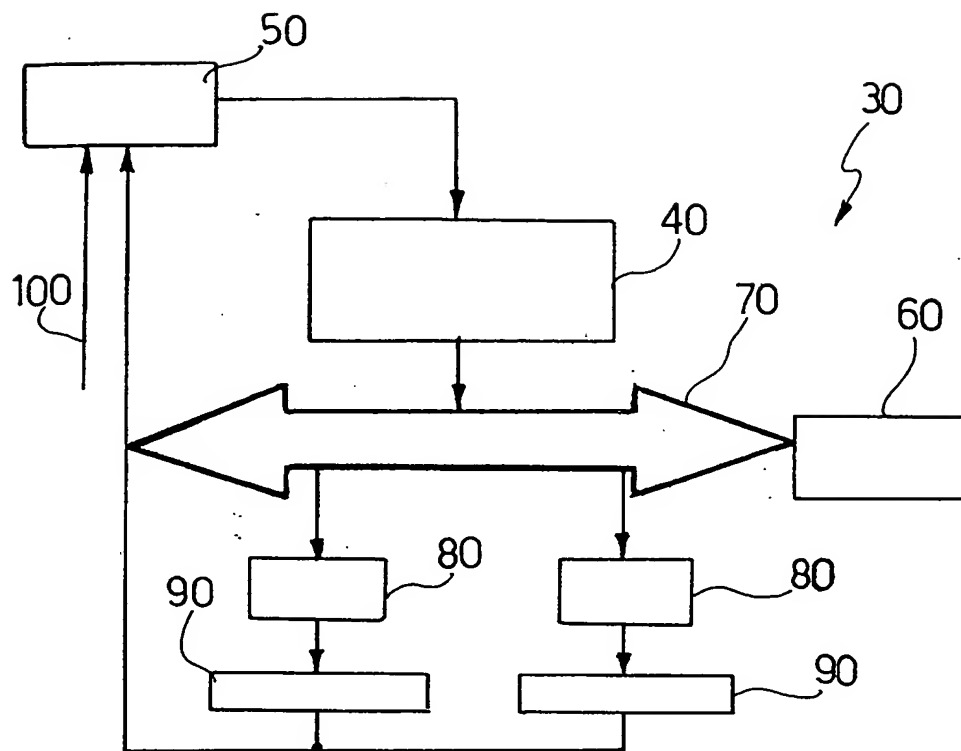
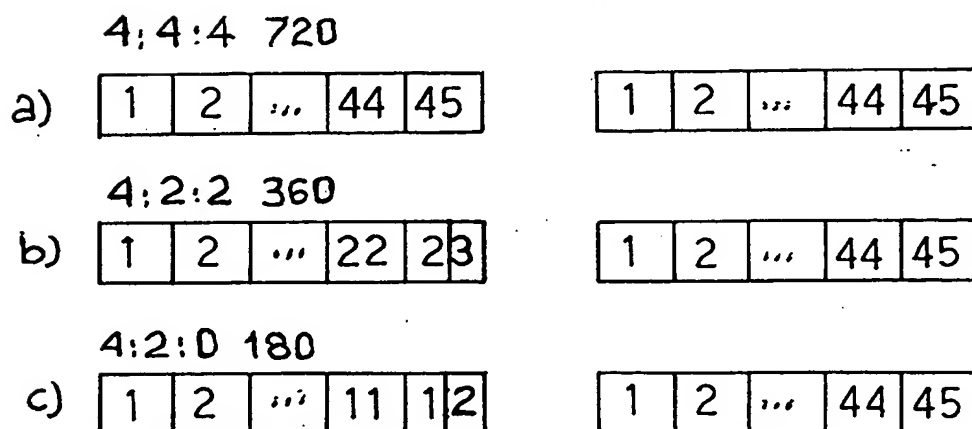


FIG. 22



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**